

ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ГРАНАТАХ ИЗ ПОРОД ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ АЛДАНСКОГО ЩИТА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ

Лобов К.В., Николенко Е.И., Фёдорова Е.Н.

*Институт Геологии и Минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,
nevgeny@igm.nsc.ru*

Строение глубинных зон Земли является одной из важнейших фундаментальных проблем в науках о Земле. Доступным источником информации о составе вещества мантии является глубинный материал, представленный ксенолитами и ксенокристаллами в трубках взрыва. Современные исследования показывают, что в глубинных геологических процессах вода играет важнейшую роль, а мантия является громадным мантийным резервуаром воды [Bell, Rossman, 1992; Michael, 1988]. Гранат, это распространенный минерал верхнемантийных пород как ультраосновного, так и эклогитового парагенезиса. Исследования показывают, что гранаты из пород верхней мантии Земли пироп-альмандинового состава обычно содержат от 5-10 до 100 ppm H_2O [Bell, Rossman, 1992], а экспериментально полученный при давлении 5-6 ГПа и 1000 °С пироп может содержать до 1000 ppm H_2O [Withers et al., 1998].

Объектом исследования являются мантийные гранаты из трубок взрыва Чомполинского поля (д.Алданская, тр.Огонек), расположенного на юге Сибирской платформы - фактически единственный

доступный источник информации о строении глубоких горизонтов литосферы в данном районе. В хромистых гранатах пироп-альмандинового состава установлено большое разнообразие полифазных минеральных включений, представленных форстеритом, диопсидом, энстатитом, хромшпинелидом, Ва-Сl - флогопитом, чермакитом, рутилом, пикроильменитом, линдслейитом, апатитом, кальцитом, доломитом, магнезитом, сульфидами и графитом [Nikolenko et al., 2017]. Установленный фазовый состав включений указывает на их метасоматический генезис и на богатый летучими компонентами (H_2O , CO_2) флюид (расплав) при участии которого образовалась данная ассоциация.

Исследование гранатов методом ИК-Фурье спектроскопии позволяет выявить в спектре наличие линий поглощения и интенсивности ОН колебаний гидроксильных дефектов и сделать количественные оценки содержания H_2O в структуре минерала в форме гидроксил-иона (ОН)⁻. Количественные оценки воды в номинально-безводных минералах основаны на законе Бера-Ламберта, согласно которому вели-

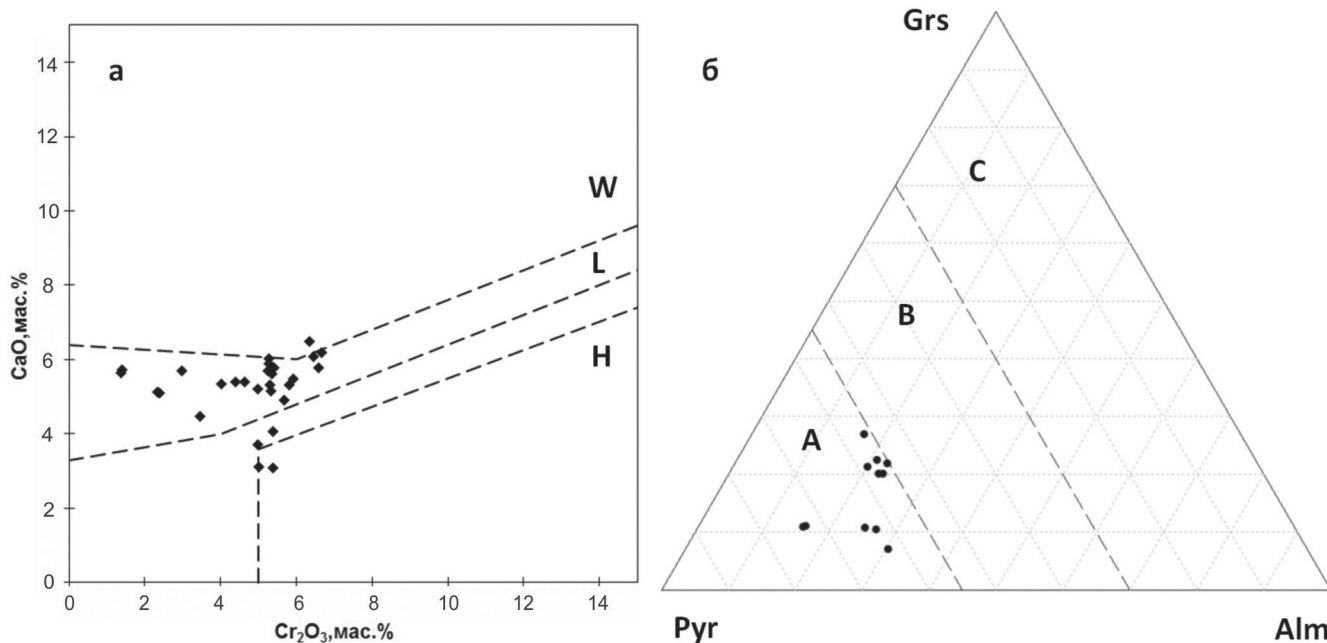


Рис. 1. Состав гранатов, для которых выполнено определение содержаний воды: (а) перидотитового парагенезиса на диаграмме $CaO-Cr_2O_3$ в мас.%; (б) гранатов эклогитового парагенезиса в координатах $Pyr-Alm-Grs$; Парагенезисы пиропов: Н - гарцбургит-дунитовый, L - лерцолитовый, W - верлитовый, по [Sobolev et al., 1973]; ABC – группы эклогитов [Coleman et al., 1965]

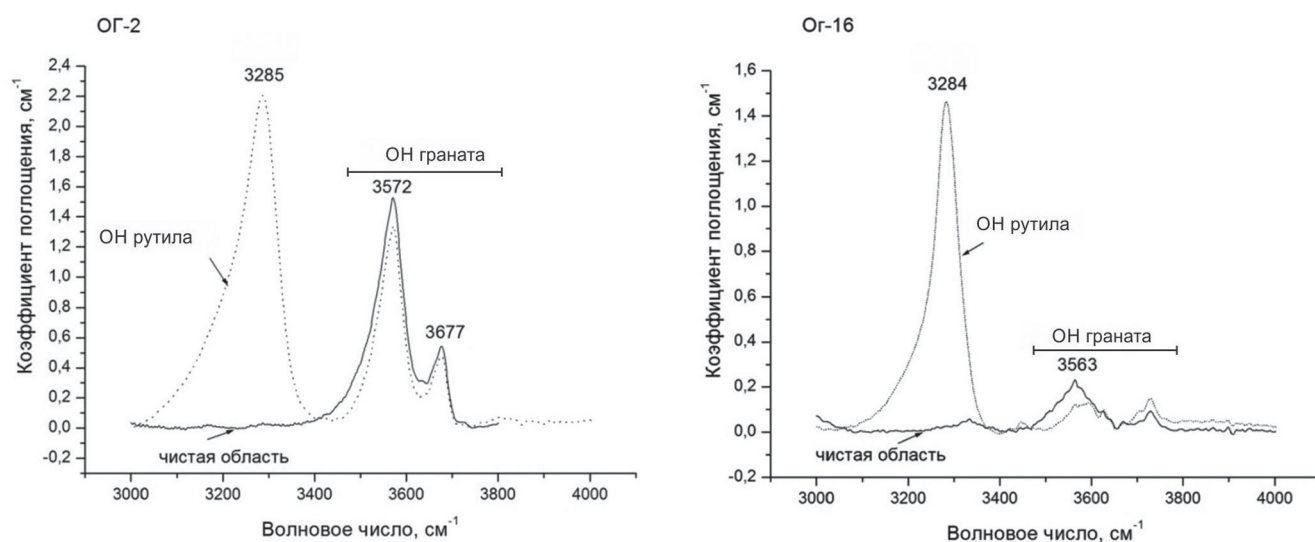


Рис. 2. ИК-спектры двух образцов ОГ-2 и ОГ-16 (д.Огонек) в области 3100-4000 см^{-1} . Для каждого образца показаны два спектра – в чистой области и в области включений рутила

чина поглощения $A = \epsilon \cdot c \cdot t$, где t – это толщина образца, c – концентрация адсорбирующих компонентов в образце, ϵ – коэффициент молярной адсорбции. Для расчета содержаний H_2O использовались неполяризованные ИК спектры. Расчет концентраций H_2O проводился по формуле $C_{\text{H}_2\text{O}} (\text{мас. \%}) = (1.8 \cdot ai) / (\epsilon_i \cdot D)$, где ai – интегральная интенсивность, D – плотность минерала в $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$. Коэффициент молярной адсорбции (6700 ± 670) использовался для граната состава $\text{Py}_{67}\text{Alm}_{21}\text{Gross}_{11}$ [Bell, 1995].

Все исследования проводились в центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН. Инфракрасная спектроскопия проводилась на ИК Фурье-спектрометре Bruker Vertex 70 с ИК микроскопом Hyperion 2000. Состав гранатов определен с помощью микрорентгеноспектрального метода (JEOL JXA8100 SuperProbe).

Для исследования методом ИК-спектроскопии было отобрано 40 зерен гранатов, из которых 24 зерна принадлежали лерцолитовому парагенезису, 4 зерна граната гарцбургит-дунитовому парагенезису и 12 зерен эклогитового парагенезиса, группы А (Рис. 1). Количественные оценки содержания H_2O в структуре гранатов в форме гидроксил-иона $(\text{OH})^-$ показали отсутствие H_2O в структуре пиропов гарцбургит-дунитового парагенезиса (менее 1 г/т). Для лерцолитовых гранатов содержание воды варьирует в интервале 1-10 г/т. Более высокие содержания – 1-26 г/т установлены для гранатов эклогитового парагенезиса. Для количественных оценок содержания воды в структуре гранатов выполнялось несколько замеров для каждого образца в гранатах без видимых дефектов и включений.

Согласно экспериментальным исследованиям [Wang et al., 1996], мантийные гранаты в течение

нескольких часов теряют до 50 % содержащийся в них воды (в виде $(\text{OH})^-$) за счет диффузии, при температурах 800-950 $^{\circ}\text{C}$. Поэтому важным фактором является скорость охлаждения геологического тела, для сохранения близких к исходным концентраций $(\text{OH})^-$ в мантийных гранатах. Опубликованные данные по содержаниям воды в мантийных гранатах варьируют в широких пределах – от 0 до сотен г/т, для разных геологических объектов. Значительная разница в содержаниях воды в номинально-безводных мантийных минералах может быть связана как с неоднородным распределением воды в мантийном субстрате, так и с различной степенью потери воды из гранатов за счет диффузии.

Помимо граната и других силикатных номинально-безводных минералов концентратором воды в мантийных условиях является рутил. Несмотря на меньшее распространение относительно оливина или граната, рутил может концентрировать большие количества воды – до 24000 г/т $(\text{OH})^-$ [Katayama et al., 2006; Swope et al., 1995, и ссылки в данной работе]. В результате проведенного исследования установлено, что в некоторых гранатах эклогитового и лерцолитового парагенезисов вода в виде гидроксил-иона связана с игольчатыми включениями рутила. Вода установлена по ИК и Рамановским спектрам по пикам в диапазоне колебаний 3285 см^{-1} (Рис. 2) [Swope et al., 1995; Katayama et al., 2006]. В чистых областях граната (без включений рутила) на ИК спектрах колебания в диапазоне 3280-3285 см^{-1} отсутствуют. Результаты дискриминации гранатов лерцолитового и эклогитового парагенезисов по химическому составу показали, что при содержании $\text{TiO}_2 < 0.05$ мас.% интегральные площади ИК-спектров в области про-

явления структурных водных компонентов близки к нулю, а содержания воды в структуре граната в форме $(\text{OH})^-$ не превышают 4 г/т. При более высоких содержаниях TiO_2 в составе граната (0.05-0.3 мас.%), наблюдается концентрации воды (в виде OH^-) до 48 г/т.

Результаты исследования гранатов мантийных парагенезисов из лампрофиров Чомполинского поля свидетельствуют о значительных содержаниях воды в перидотитах и эклогитах литосферной мантии Центрально-Алданского супертеррейна. Вода (в виде OH^-) установлена преимущественно в гранатах эклогитового и лерцолитового парагенезисов, а также связана с игольчатыми включениями рутила в гранатах. Прямым свидетельством существенного содержания воды в мантийном субстрате является присутствие водосодержащих минералов в составе полифазных включений в мантийных гранатах.

Данная работа была выполнена в рамках государственного задания, проект No. 0330-2016-0006.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bell D., Rossman G. Water in earth's mantle - The role of nominally anhydrous minerals // Science. 1992. v. 255. p. 1391-1397.
2. Bell D.R., Ihinger P.D. Rossman G.R. Quantitative analysis of trace OH in garnet and pyroxenes // American Mineralogist. 1995. 80. p.465-474.
3. Coleman R.G., Lee D.E., Beatty L.B., Brannock W.W. Eclogites and eclogites: their differences and similarities // Geological Society of America Bulletin. 1965. v. 76. p. 483-508.
4. Katayama I., Nakashima S., Yurimoto H. Water content in natural eclogite and implication for water transport into the deep upper mantle // Lithos. 2006. v. 86. p. 245-259.
5. Michael P.J. The concentration, behavior and storage of H_2O in the suboceanic upper mantle: Implications for mantle metasomatism // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1988. v.52. p. 555-566.
6. Nikolenko E.I., Sharygin I.S., Alifirova T.A., Korsakov A.V., Zelenovskiy P.S., Shur V.Ya. Graphite-bearing mineral assemblages in the mantle beneath Central Aldan superterrane of North Asian craton: combined confocal micro-Raman and electron microprobe characterization // J. Raman Spectrosc. 2017, v. 48, p.1597-1605. DOI 10.1002/jrs.5163
7. Sobolev N.V., Lavrent'ev Y.G., Pokhilenko N.P., Usova L.V. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1973. v. 40. p. 39-52.
8. Swope R.J., Smyth J.R., Larson A.C. H in rutile-type compounds: I. Single-crystal neutron and X-ray diffraction study of H in rutile // American Mineralogist. 1995. v. 80. № 5-6. p. 448-453.
9. Wang L., Zhang Y., Essene E. J. Diffusion of the hydrous component in pyrope // American Mineralogist. 1996. v. 81. p. 706-718.
10. Withers A.C., Wood B.J., Carroll M.R. The OH content of pyrope at high pressure // Chemical Geology. 1998. v. 147. p. 161-171.